

09.05.2023

2. Sitzung des Projektbegleitenden Ausschusses

Helios - Experimenteller Teil

Tim Hülser

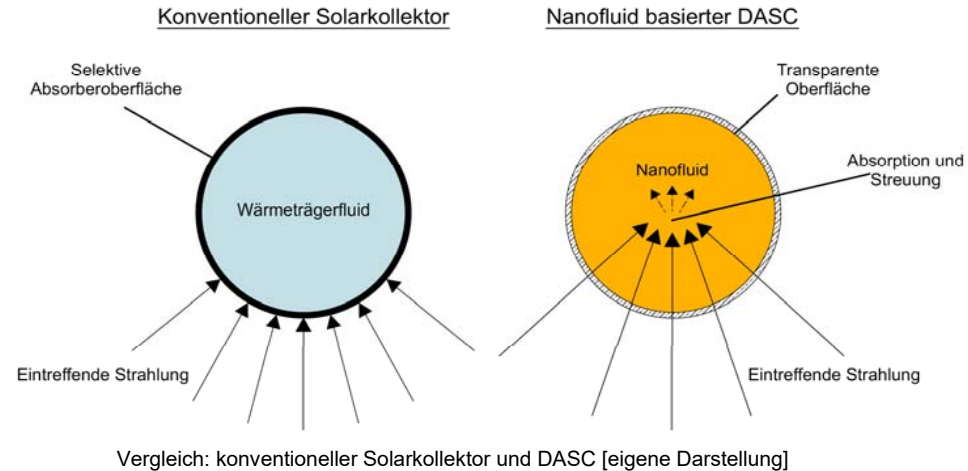
INSTITUT FÜR UMWELT & ENERGIE,
TECHNIK & ANALYTIK E. V. (IUTA)

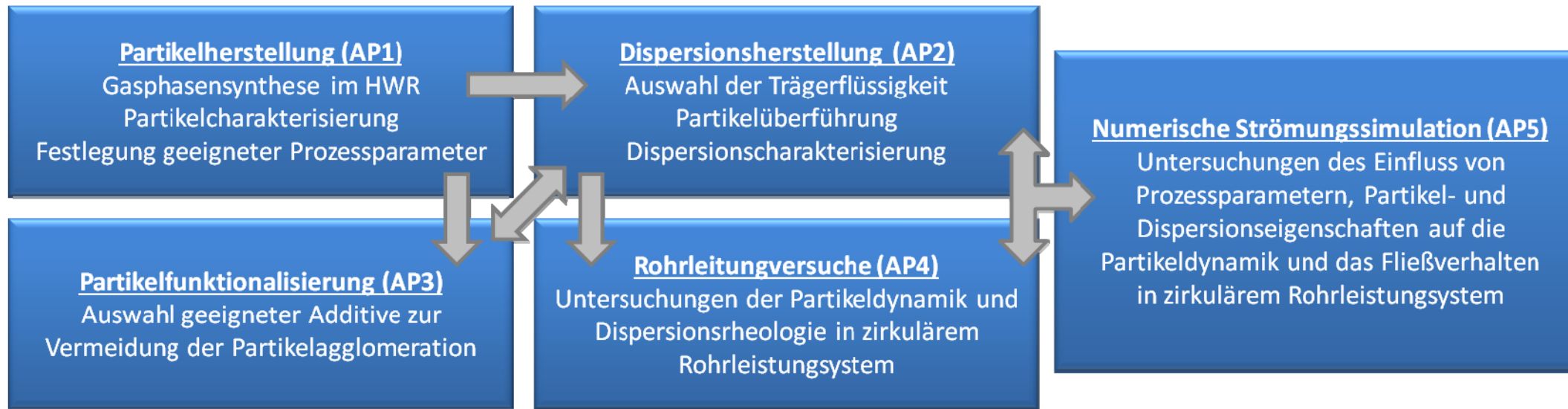


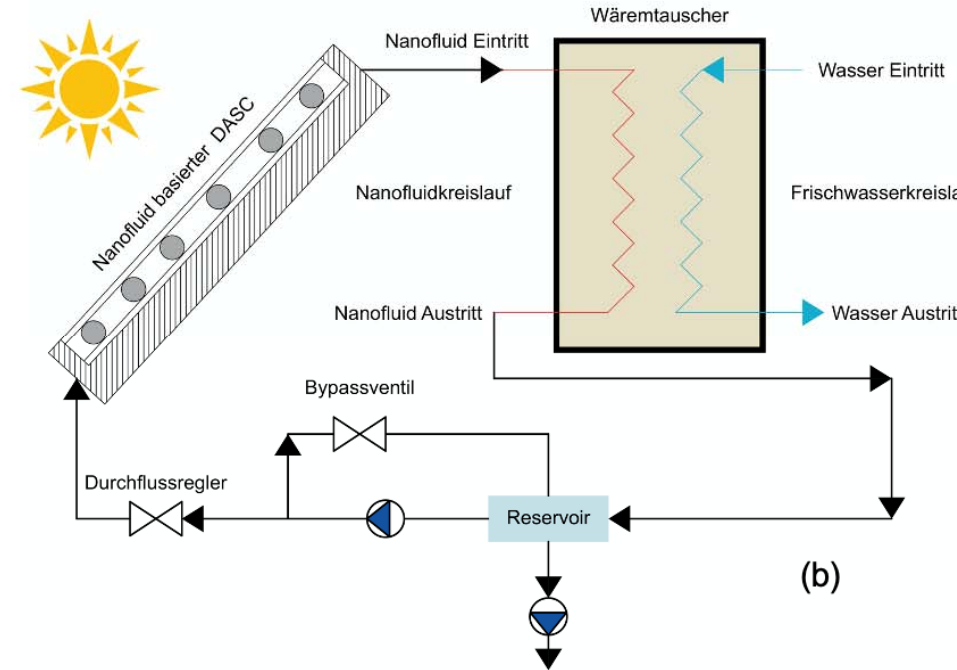
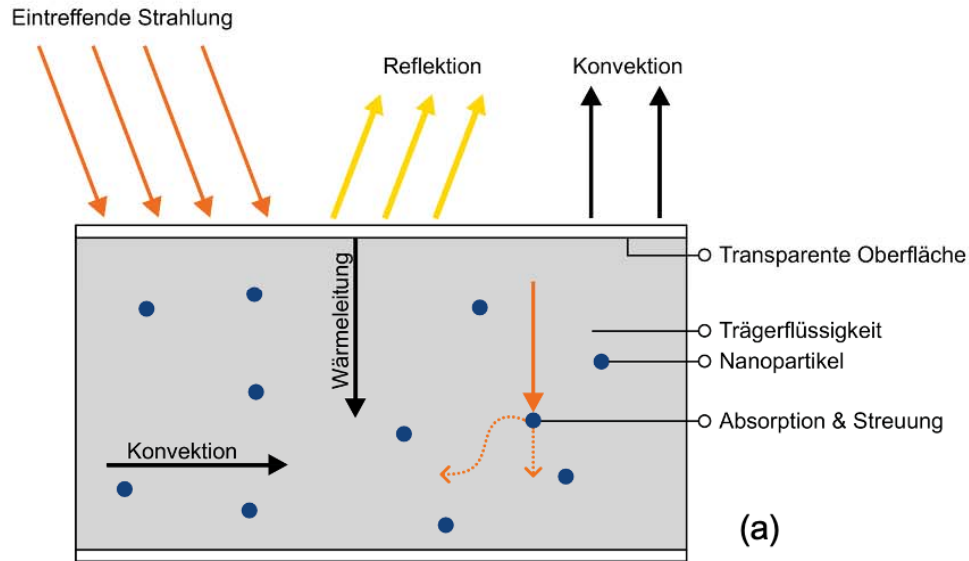
Herstellung von Nanomaterial-basierten Liquiden zur Optimierung der Solarthermie (HELIOS)

Forschungsprojekt: Herstellung von Nanomaterial-basierten Liquiden zur Optimierung der Solarthermie (HELIOS)

- Solarthermie: Nutzung der Solarenergie zum Heizen, Kühlen und zur Elektrizitätserzeugung
- Konventionell: Konversion der Lichtenergie an der selektiven Absorberoberfläche
- Direktabsorptions-Solarthermie (DASC): Konversion der Lichtenergie im Fluid







Nanofluid: technisch hergestellte Dispersion von Nanopartikeln in einer Trägerflüssigkeit ($d < 100 \text{ nm}$)

Vorteile:

- + Verbesserte optische und thermophysikalische Eigenschaften im Vergleich zur Trägerflüssigkeit**
- + Geringfügige Veränderung der Flüssigkeitseigenschaften**
- + weniger Strahlungsverluste → Wirkungsgradsteigerung potentiell möglich**

Hindernisse:

- Schlechte Verfügbarkeit hochspezifischer Nanomaterialien**
- Langzeitstabilität**

- 1. Ein tieferes Verständnis des Einflusses der Materialeigenschaften auf die Dispersions- und Absorptionseigenschaften zu gewinnen**
- 2. Ein geeignetes Verfahren zur Überführung der Materialien in Trägerflüssigkeiten festgelegt und darauf aufbauend zeitlich stabile Nanofluide hergestellt werden**
- 3. Eine optimale Partikelbeladung in einer Trägerflüssigkeit zu bestimmen**
- 4. Dimensionierung eines Nanofluides für einen realen Solarkollektor**
- 5. Beurteilung der Anwendbarkeit der Nanomaterialien in der Solarthermie**

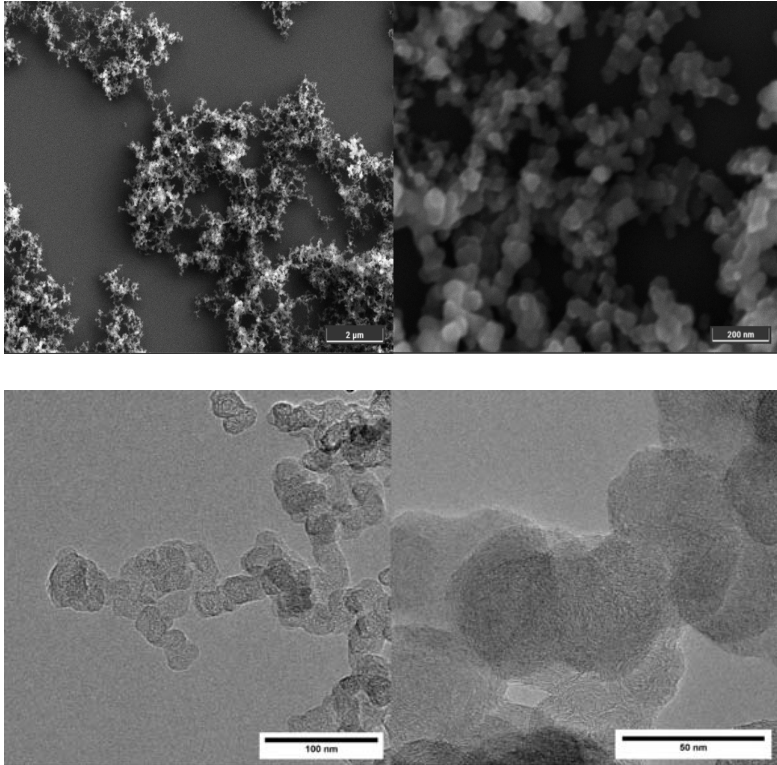
1. Carbon Black (Industrieruß)

- **Kontrolliert hergestellt**
- **Kommerziell verfügbar**
- **Kostengünstig**
- **Ist bereits Forschungsgegenstand in DASC**

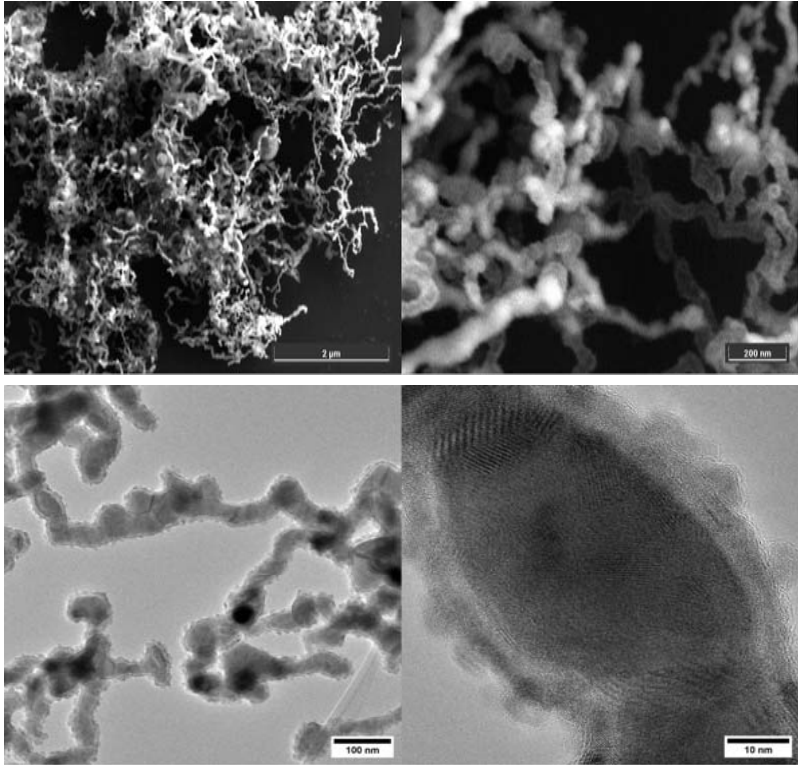
2. Zementit (Fe_3C)

- **Im Rahmen einer Versuchsreihe hergestellt**
- **Kein kommerzielles Produkt**
- **Bisher wenig Forschungsaktivität für DASC ausgelöst**

Carbon Black



Fe₃C



Gasadsorption (BET-Messung)

$$SSA = \frac{v_m \cdot N_A \cdot a_n}{m}$$

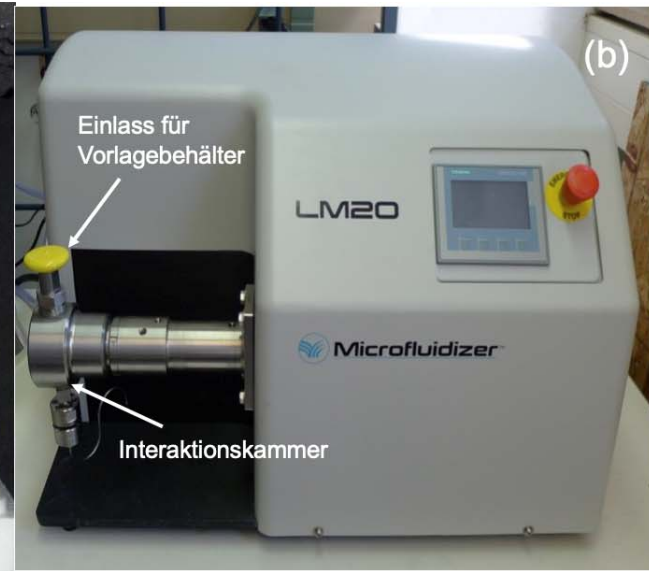
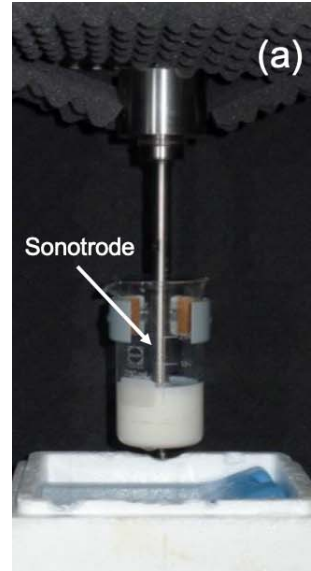
v_m = Menge des adsorbierten Stickstoffs
 N_A = Avogadro Konstante
 a_n = Flächenbedarf eines Stickstoffmoleküls
 m = Masse des Pulvers

$$d_{hyd} = \frac{6000}{\rho \cdot SSA}$$

ρ = Dichte des Materials

	Carbon Black	Zementit (Fe ₃ C)
Dichte ρ [$\frac{g}{m^3}$]	1,81	7,68
SSA [$\frac{m^2}{g}$]	59,0	17,43
Hydrodynamischer Durchmesser d_{hyd} [nm]	≈ 56	≈ 45
Primärpartikel	sphärisch	elliptisch / Ketten

- Trägerflüssigkeit: VE-Wasser
- Additiv: DisperByk-18
- Dispergierverfahren
 - Ultraschall-Homogenisator (a)
 - Microfluidizer (b)
 - Dispermat (c)



Herstellung der Nanofluide

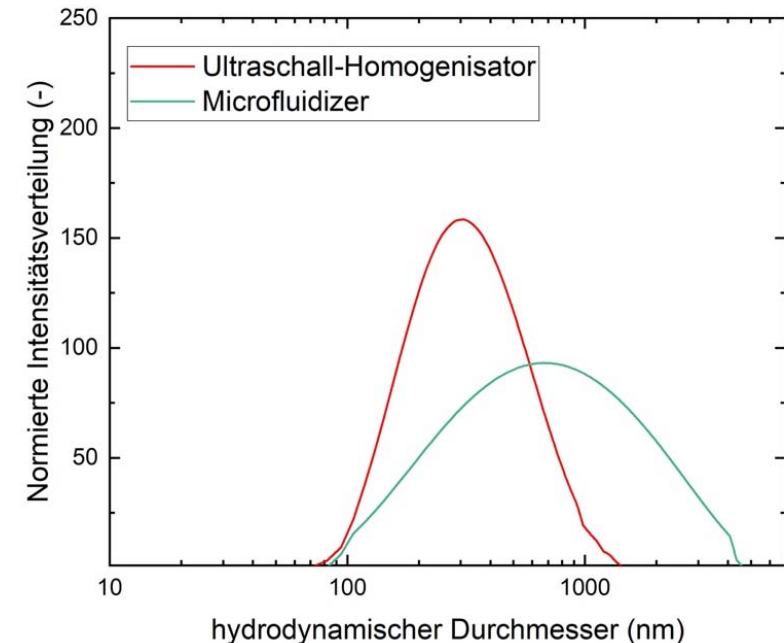
- 0,1 Gew.-% Nanomaterial
- 100 % DisperByk-18
- Dispergierung mittels Ultraschall-Homogenisator / Microfluidizer + Dispermat

→ Messung mittels Dynamischer Lichtstreuung (DLS)
unmittelbar der Herstellung

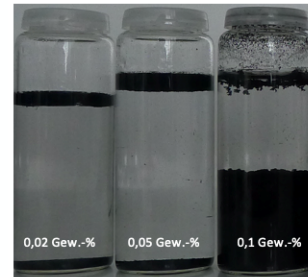
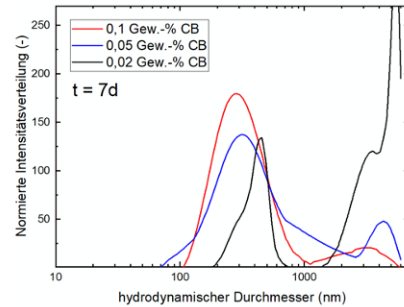
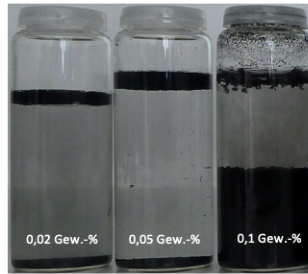
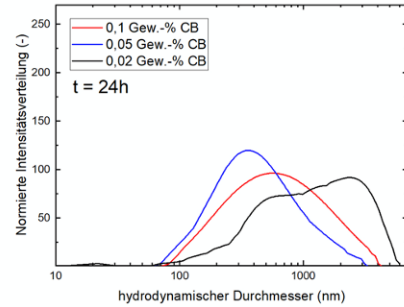
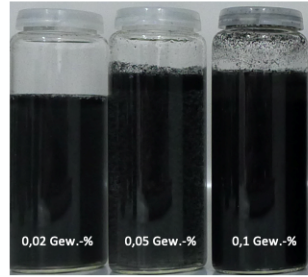
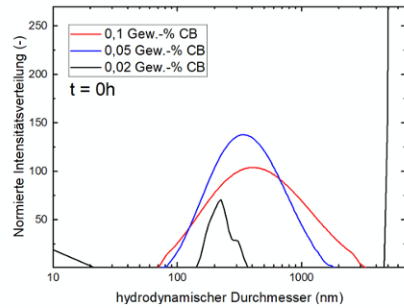
→ Partikelgrößenverteilung als Merkmal für die Qualität einer

Dispersion

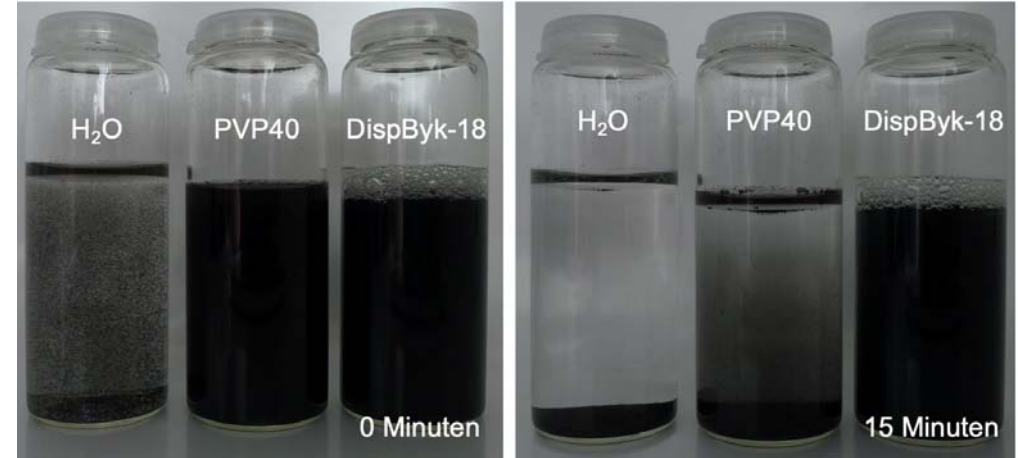
- Schmalere PGV nach der Herstellung mit Ultraschall-Homogenisator
- Blockade der Interaktionskammer bei Dispergierung von Fe_3C
- **Ultraschall-Homogenisator als geeignetes Verfahren**



Carbon Black

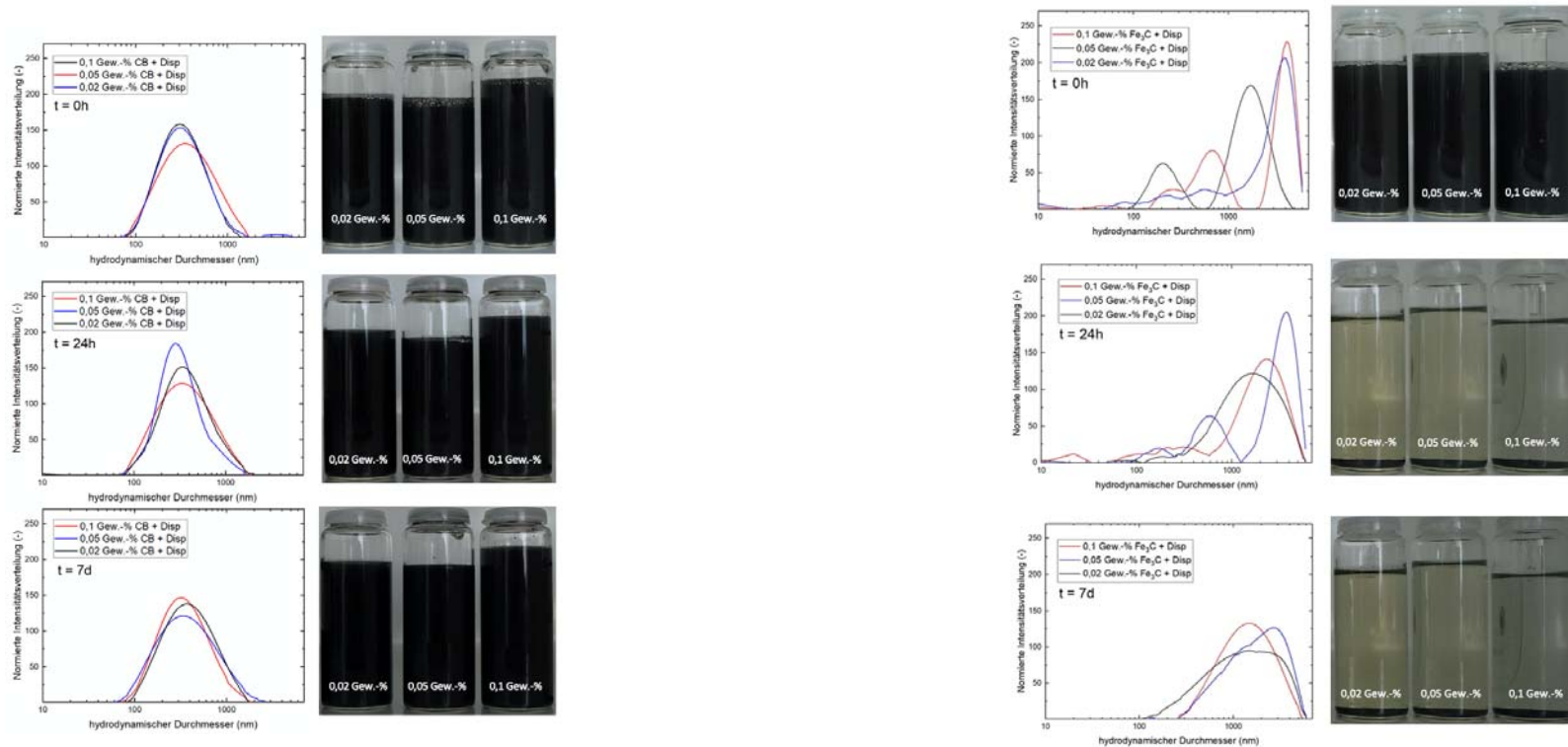


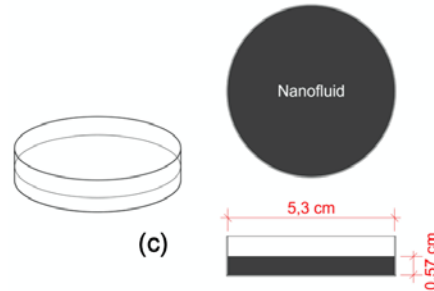
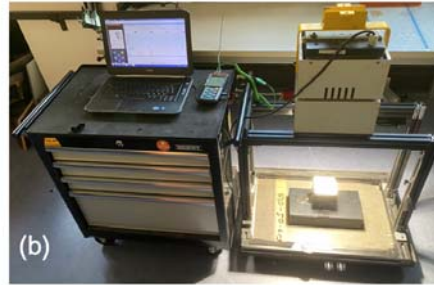
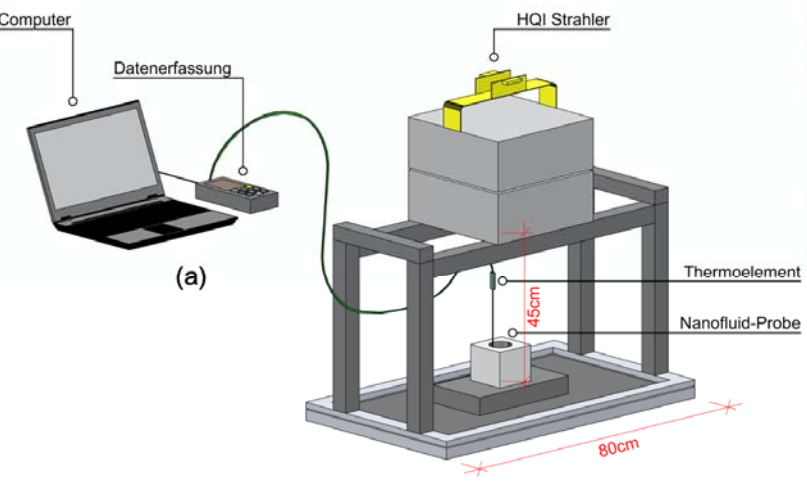
Fe₃C



Langzeitstabilität der Nanofluide

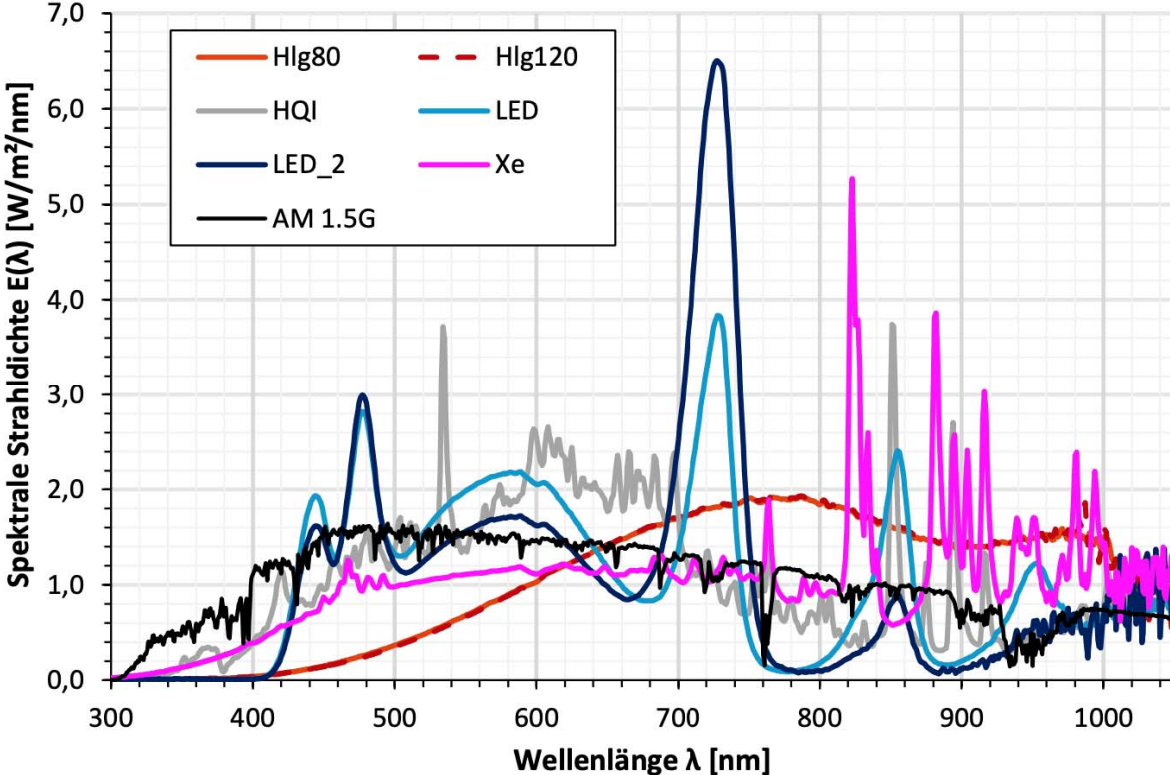
- Herstellung von Nanofluiden mit unterschiedlichen Massenbeladungen
- Beobachtung der PGV nach über ein Zeitinterhorizont von 7 Tagen
- Parallel wird der Sedimentationprozess im Ruhezustand beobachtet





- HQI-Strahler als Sonnensimulator
- Flüssigkeitstiefe von $x = 0,57 \text{ cm}$
- Bestrahlungsstärke $I = 150 \text{ W/m}^2$

Experimenteller Versuchsaufbau [eigene Darstellung]



- **Ziel:** 100 % Lichtabsorption bei einer Flüssigkeitstiefe von 0,57 cm
- Extinktionsmessung mit UV-Vis Spektrometer

Lambert Beer'sches Gesetz:

$$E_{\lambda} = \log\left(\frac{I_0}{I_T}\right) = k \cdot c \cdot x$$

E_{λ} = Extinktion

I_0 = eintreffende Strahlung

I_T = transmittierte Strahlung

k = Extinktionskoeffizient

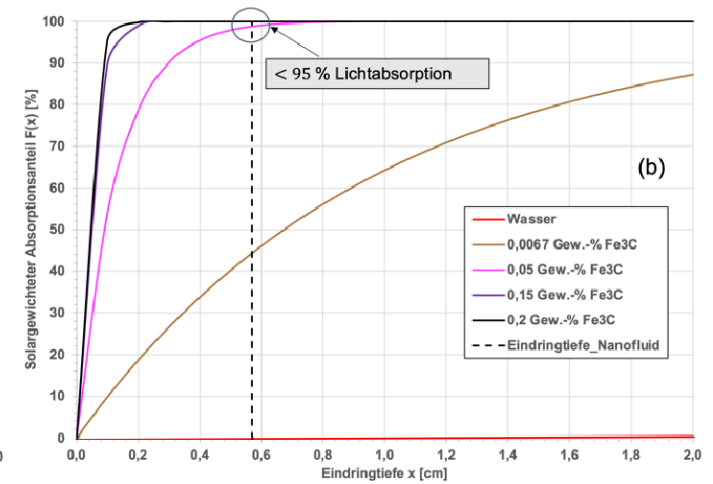
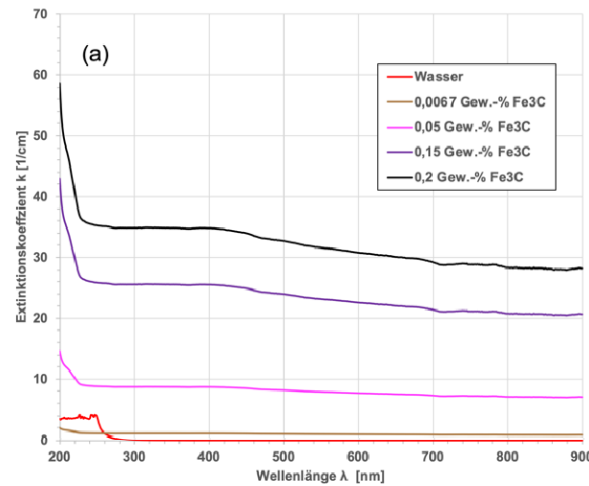
c = Konzentration der absorbierenden Substanz

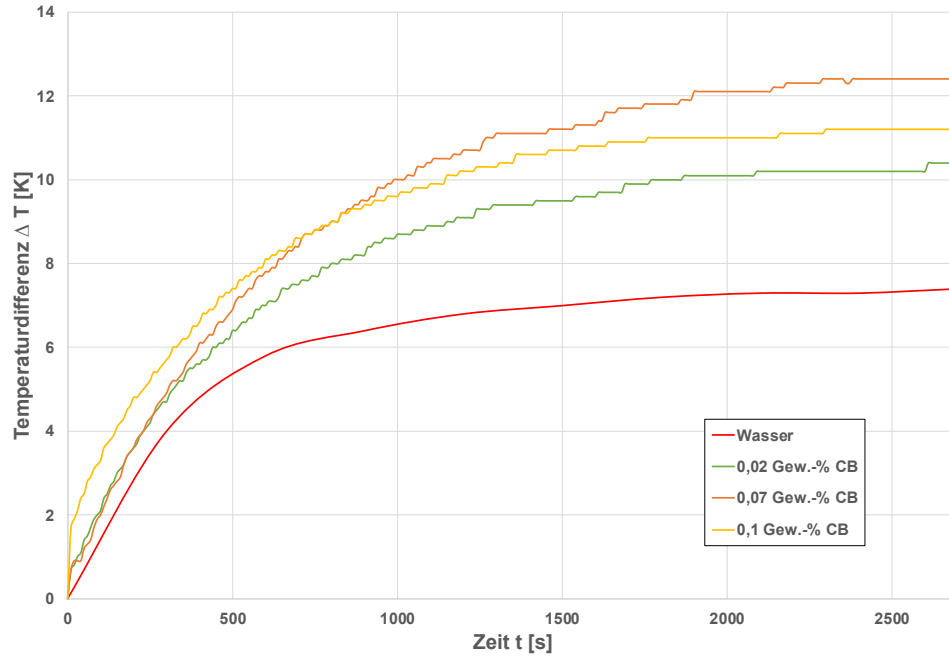
x = Schichtdicke der Küvette

Solargewichteter Absorptionsanteil:

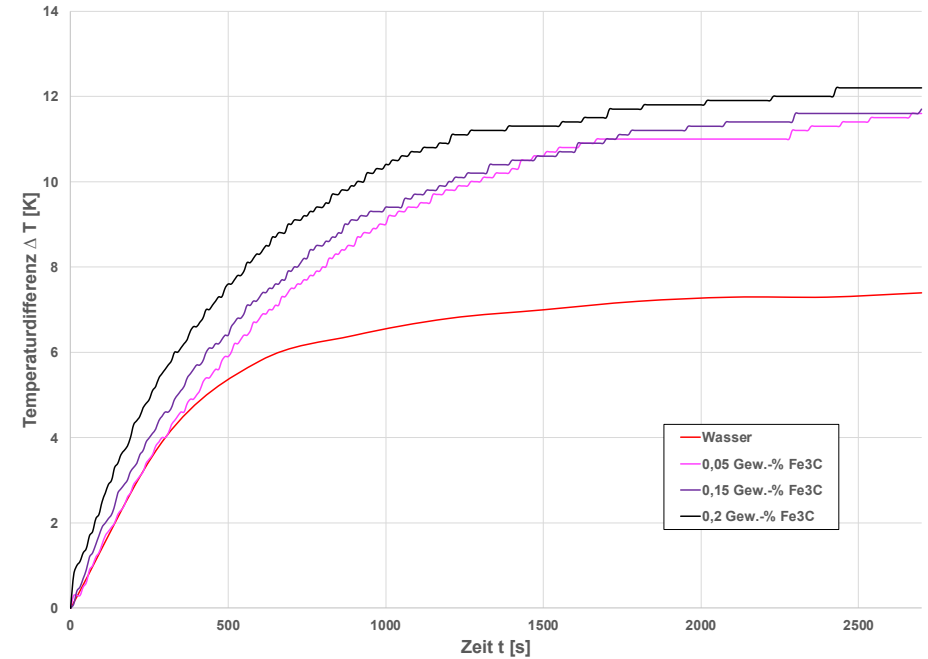
$$F(x) = \frac{\int_0^{\lambda} I(\lambda) \cdot (1 - e^{-x \cdot k(\lambda)}) d\lambda}{\int_0^{\lambda} I(\lambda) d\lambda}$$

$I(\lambda)$ = Bestrahlungsstärke der Sonne (Referenzspektrum AM 1,5)





$$\begin{aligned}\Delta T_{\text{Wasser}} &= 7,4 \text{ K} \\ \Delta T_{0,02 \text{ Gew.}\%} &= 10,7 \text{ K} \\ \Delta T_{0,07 \text{ Gew.}\%} &= 12,4 \text{ K} \\ \Delta T_{0,1 \text{ Gew.}\%} &= 11,2 \text{ K}\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}\Delta T_{\text{Wasser}} &= 7,4 \text{ K} \\ \Delta T_{0,05 \text{ Gew.}\%} &= 11,6 \text{ K} \\ \Delta T_{0,15 \text{ Gew.}\%} &= 11,7 \text{ K} \\ \Delta T_{0,2 \text{ Gew.}\%} &= 12,2 \text{ K}\end{aligned}$$

Photothermische Energieeffizienz

$$\eta = \frac{(c_{TF} \cdot m_{TF} + c_{NP} \cdot m_{NP})}{I \cdot A \cdot \Delta T} \approx \frac{(c_{TF} \cdot m_{TF})}{I \cdot A} \cdot \frac{\Delta T}{\Delta t}$$

c_{NP} = spez. Wärmekapazität der Trägerflüssigkeit

m_{TF} = Masse der Trägerflüssigkeit

c_{NP} = spez. Wärmekapazität der Nanopartikel

m_{NP} = Masse der Nanopartikel

I = Bestrahlungsstärke der Lichtquelle

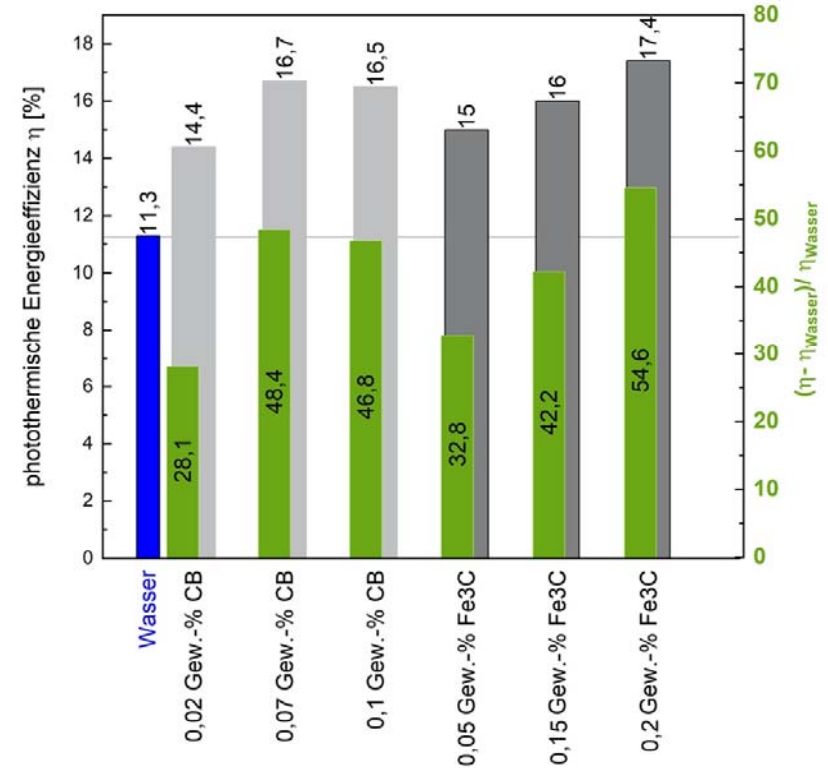
A = Bestrahlte Fläche

ΔT = Temperaturdifferenz

Δt = Bestrahlungsdauer

→ In einem kurzen Zeitintervall soll möglichst viel Solarstrahlung
in thermische Energie umgewandelt werden

→ Bestrahlungsdauer $\Delta t = 900$ s



- Annahme: Kollektordurchmesser $d = 10 \text{ cm}$, Flüssigkeitsvolumen $V = 40 \text{ Liter}$
- Dimensionierung eines Nanofluides durch Extrapolation der zuvor bestimmten Partikelbeladung

	Carbon Black	Fe ₃ C
Kommerziell erhältlich	Ja	Nein
Kollektordurchmesser d [cm]	10	10
Nanomaterialpreis [€/g]	0,6	10
Partikelbeladung [Gew.-%]	0,0022	0,0056
Partikelmenge in 40 Liter [g]	0,88	2,24
Additivmenge in 40 Liter [g]	0,88	2,24
Kosten [€]	≈ 2	≈ 25

- **Ziele erreicht**

- tieferes Verständnis des Einflusses der Materialeigenschaften auf die Dispersions- und Absorptionseigenschaften gewonnen
- Geeignetes Verfahren zur Überführung der Nanomaterialien in Trägerflüssigkeiten festgelegt
- Zeitlich stabile Nanofluide mit Carbon Black hergestellt
- Optimale Partikelbeladung in einer Trägerflüssigkeit bestimmt
- Dimensionierung der Nanofluide für einen realen DASC

- **Beurteilung der Anwendbarkeit der Nanomaterial**

- Carbon Black: gute Dispersionsstabilität, gute Performance, kostengünstig und bereits im großen Mengen verfügbar → Anwendung realistisch
- Fe_3C : keine Dispersionsstabilität, gute Performance, Material noch nicht etabliert → Anwendung bisher nicht realistisch

- **Versuche in einem zirkulierenden Rohrleitungssystem bzw. in einer realen Anlage von großem Interesse**
- **Neue Lösungsansätze zur Herstellung von stabilen Fe_3C -Nanofluiden**
- **Anpassung des bestehenden Versuchsaufbaus zur photothermischen Energieumwandlung**

